

Opinnäytetyö (AMK)  
Elektroniikka  
Elektroniikkasuunnittelu  
2012

Mika Vainiotalo

# JOHTOSARJOJEN TESTILAITTEISTO



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Vainiotalo

## JOHTOSARJOJEN TESTILAITTEISTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa johtosarjojen testilaitteisto työkoneiden ja raskaanajoneuvokaluston johtosarjoja valmistavan yrityksen tuotantoon. Testilaitteiston haluttiin olevan mahdollisimman kompakti, jälkeensä laajennettavissa sekä joustavasti liitettävissä erilaisiin johtosarjoihin. Myös testilaitteiston käytön haluttiin olevan helppoa, joten testilaitteistoa piti voida käyttää tietokoneelta. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin testilaitteiston sähköiseen ja mekaaniseen toteutukseen eikä ohjelmistoa käsitelty ollenkaan.

Suunnittelutyö aloitettiin laitteistolta vaadittavien ominaisuuksien kartoittamisella. Testilaitteiston spesifioimista tuki yrityksen vanhoista testilaitteistoista saadut kokemukset, joiden pohjalta laadittiin uudet vaatimukset.

Testilaitteisto suunniteltiin modulaariseksi, ja se sisältää 1 – 15 kappaletta 42 testipisteen testipistemoduulia. Näin laitteistossa voi olla enintään 630 testipistettä. Jokainen testipistemoduuli koostuu useammasta piirilevystä. Jokainen piirilevy toteuttaa oman sähköisen toimintonsa joka testilaitteistolta vaaditaan. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa testipisteen kytkeminen testijännitteeseen tai testijännitteen tunnistaminen testipisteessä.

Työssä suunniteltiin kaikki laitteiston piirilevyt sekä laitteiston mekaaninen toteutus. Piirilevyille tehtiin lopulta kaksi suunnittelukierrosta, jotta kaikki toiminnot saatiin toimimaan halutulla tavalla. Testilaitteisto koottiin suunnitellun koteloinnin avulla työpöydän pinnan alapuolelle, ja se vie näin ollen vain vähän tilaa.

Lopputuloksena saatiin halutut vaatimukset täyttävä, helppokäyttöinen ja joustava johtosarjojen testilaitteisto tuotantoon. Testilaitteisto on toiminut luotettavasti päivittäisessä käytössä jo usean vuoden ajan.

ASIASANAT:

johtosarja, testilaitteisto

Mika Vainiotalo

## A WIRE HARNESS TEST SYSTEM

The purpose of this thesis was to design and build a wire harness test system for a company that manufactures wire harnesses for machinery and vehicles. The test system needed to be compact, expandable, and flexibly attachable to different kinds of wire harnesses. For the use of the test system to be easy, the user interface had to be on a computer. The focus of this thesis is on the electronic and mechanic implementation of the test system instead of its software.

The designing of the test system was initiated by researching the necessary specifications. The specifications were based on previous experiences with earlier test systems of the company.

The test system was designed to be modular, and it includes from 1 to 15 test point modules with 42 test points each. Therefore, the test system can include a maximum of 630 test points. Each test point module consists of multiple printed circuit boards and each printed circuit board has its own electrical function needed in the test system. Such functions are, for example, connecting a test point to the test voltage or recognizing a test voltage at the test point.

The designing of the test system included designs of all the printed circuit boards as well as mechanics. To make all the functions work properly, the printed circuit boards needed two rounds of designing. The test system was assembled under the surface of a desk with a designed encapsulation, thus taking only a small amount of space.

The end result was a test system within specifications that was easy to use and flexible considering the needs of the production of the company. The test system has been working reliably on a daily basis for several years.

### KEYWORDS:

Wire harness, test system.

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 JOHTOSARJATUOTANTO JA TESTAUS</b>	<b>2</b>
2.1 Johtosarjatuotanto Technion Oy:ssä	2
2.2 Johtosarjojen testaustarpeet	3
2.3 Testausjärjestelmän valinta	4
<b>3 TESTILAITTEISTON VAATIMUKSET</b>	<b>5</b>
3.1 Toiminnalliset vaatimukset	5
3.2 Mekaaniset vaatimukset	6
<b>4 SPESIFIKAATIOT</b>	<b>7</b>
4.1 Mekaaniset spesifikaatiot	7
4.2 Sähköiset spesifikaatiot	7
<b>5 SUUNNITTELU</b>	<b>10</b>
5.1 Elektroniikkasuunnittelu	10
5.2 Mekaniikkasuunnittelu	11
<b>6 LAITTEISTO</b>	<b>12</b>
6.1 Prosessorikortti	12
6.2 Liitäntäkortti	16
6.3 Lähtökortti PNP	18
6.4 Lähtökortti NPN	21
6.5 Tulokortti	22
6.6 Virtalähde	25
<b>7 TESTILAITTEISTON RAKENTAMINEN</b>	<b>27</b>
7.1 Piirilevyjen valmistus	27
7.2 Piirilevyjen testaus	27
7.3 Laitteiston kokoonpano	29
<b>8 POHDINTA</b>	<b>31</b>
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>33</b>
<b>LÄHDELUETTELO</b>	<b>34</b>

## KÄYTETYT LYHENTEET

b/s	Bittiä sekunnissa (Bits per second)
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electromagnetic Compatibility)
EMI	Sähkömagneettinen häiriö (Electromagnetic Interference)
ESD	Sähköstaattinen purkaus (Electrostatic Discharge)
I <sup>2</sup> C	Philipsin kehittämä sarjamuotoinen väylä
I/O	Tulot ja lähdöt (Input / output)
MOSFET	Kanavatransistori (Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)
PADS	Mentor Graphicsin kehittämä piirikaavioiden ja piirilevyjen suunnitteluohjelmisto
PIC	Microhipin valmistama mikro-ohjaintuoteperhe
RS232	Sarjaväylä

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa uuden sukupolven johtosarjojen testilaitteisto Technion Oy:n tuotantoon. Tässä työssä keskitytään laitteiston elektronikan ja mekaniikan suunnitteluun ja toteutukseen.

Keskeisimpiä testilaitteiston ominaisuuksia haluttiin olevan laitteiston joustava liittäminen erilaisiin testattaviin tuotteisiin. Testilaitteiston koko piti myös saada mahdollisimman pieneksi edellisten testilaitteistojen ollessa liian suuria. Jälkeenpäin laajennettavuus oli myös tärkeässä roolissa testilaitteistoa suunniteltaessa.

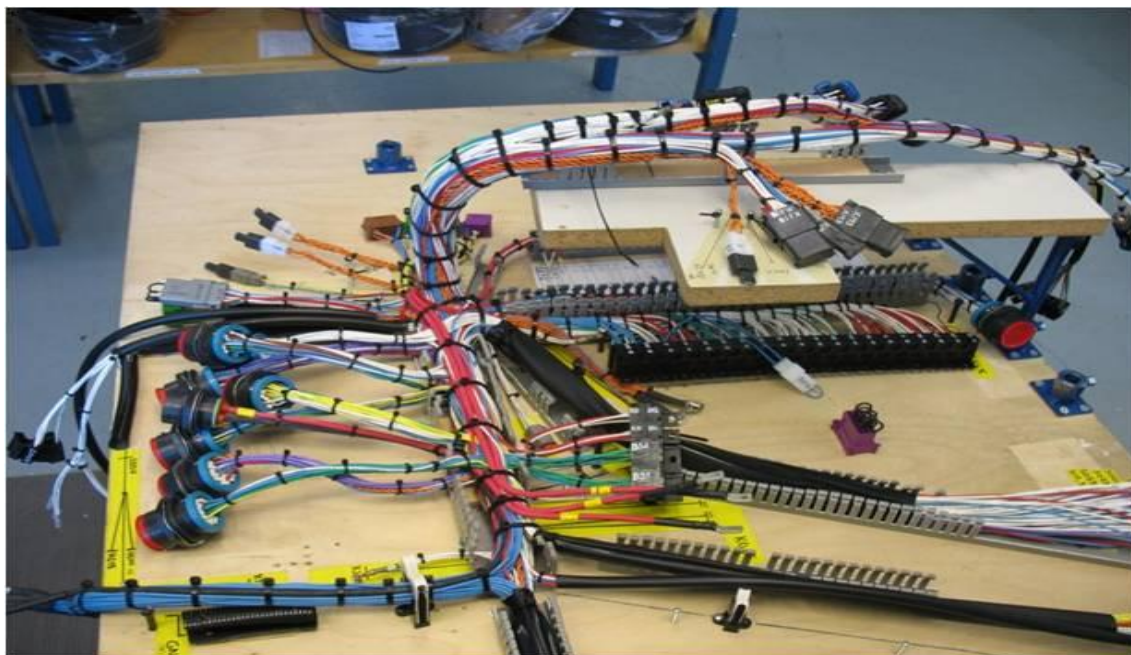
Valmista sopivaa laitteistoa tai osakokonaisuuksia ei ollut tarjolla, joten koko testilaitteisto päädyttiin suunnittelemaan ja rakentamaan itse. Testilaitteiston vaatimusmäärittelyt tehtiin yhteistyössä yrityksen ohjelmisto- ja elektroniikkasuunnittelijan kanssa.

Suunnittelu aloitettiin laitteiston järjestelmäsuunnittelulla, jota seurasi varsinainen elektroniikkasuunnittelu. Elektroniikkasuunnittelun haasteena oli laitteen modulaarinen rakenne. Laitteisto koostuu useasta piirilevystä, joille laitteiston sähköiset toiminnot on jaettu.

## 2 JOHTOSARJATUOTANTO JA TESTAUS

### 2.1 Johtosarjatuotanto Technion Oy:ssä

Technion Oy on erikoistunut raskaan ajoneuvokaluston ja työkoneiden elektronisten ohjausjärjestelmien suunnitteluun ja valmistamiseen. Yksi osa-alue Technion Oy:n tuotannossa on johtosarjojen valmistus työkoneisiin ja raskaan ajoneuvokaluston tarpeisiin. Tyypillisiä kohteita ovat kaivos- ja maansiirtokoneet, kuorma-auton vaihtolavalaitteet sekä metsäkoneiden hakkuukourat. Kuvassa 1 on tyypillinen työkoneen johtosarja. Johtosarjoja valmistetaan vuosittain yli 10 000 [2]. Sarjakoot vaihtelevat yksittäisistä erikoistoimituksista aina muutaman tuhannen kappaleen vuosivolyymiin.



**Kuva 1.** Työkoneen johtosarja

Osa johtosarjatuotannosta on suoraa sopimusvalmistusta, eli asiakkaan suunnittelema johtosarja valmistetaan valmiiden piirustusten pohjalta. Asiakkaan halutessa Technion voi olla myös mukana johtosarjan suunnittelussa alkuvaiheesta lähtien. Johtosarja voidaan myös suunnitella kokonaan asiakkaan vaatimusten mukaisesti ja toimittaa se Technionin omien elektroniikkatuotteiden ja ohjausjärjestelmien mukana.

Yhteistä kaikille Technionin valmistamille johtosarjoille on vaativat ympäristöolosuhteet. Johtosarjoja käytetään niin pohjolan talvipakkasissa, kuin kuumissa ja kosteissa kaivoksissakin. Johtosarjat on usein asennettu ulos koneissa ja ne joutuvat alttiiksi kosteudelle, pölylle, lialle, tärinälle, lämpötilanvaihteluille sekä erilaisille kemikaaleille, kuten öljylle. Monissa laitteissa johtosarjan pitää kestää tärinän lisäksi mekaanista liikkumista. Kovien vaatimusten vuoksi kaikki johtosarjan komponentit ja tarvikkeet valitaan huolellisesti vastaamaan niitä tarpeita, jotka käyttöolosuhteet luovat.

## 2.2 Johtosarjojen testaustarpeet

Useimmat Technionin valmistamat johtosarjat ovat sarjakooltaan suhteellisen pieniä, mutta monimutkaisia ja valmistusteknisesti vaativia. Näin ollen kaikki valmistettavat johtosarjat vaativat suuren määrän käsityötä.

Automaattikonetta käytetään joissakin johtosarjoissa yksittäisten johtojen katkaisemiseen, kuorimiseen ja merkitsemiseen joko mustesuihkulla tai kuumaleimasimella. Automaattikoneen työstämän johtimen jälkeen kaikki kokoonpanotyö on käsityötä. Joitakin yleisimpiä liittintyyppjä varten on puoliautomaattikoneita, joilla puristetaan liittimen kontakti johtimeen. Johdin kuitenkin asetetaan käsin oikeaan kohtaan suhteessa liittimeen, ennen kuin kone lyö kontaktin johtimeen. Osa kontakteista puristetaan johtimiin perinteisesti käsityökaluin.

Johtimien asentaminen liittimiin on kokonaan käsityötä. Liittintyyppistä riippuen liitinrunkoon asennetaan johdin, johon on puristettu kontakti tai johdin juotetaan liittimeen. Tässä työvaiheessa on suuri mahdollisuus tehdä inhimillinen virhe. Kontakti voidaan asentaa väärään kohtaan liittimessä tai johto voidaan juottaa väärään liittimeen. Juotettavissa liittimissä on myös aina mahdollisuus, että johdon säikeet tai juotostina muodostavat oikosulun vierekkäisen liitinkontaktin kanssa. Johdon voi myös epähuomiossa puristaa kuorimattoman johdon päälle, eikä silloin synny sähköistä kontaktia liitinkontaktin ja johtimen välille.

Johtosarjojen osana käytetään myös jonkin verran valmiskaapeleita. Kyseessä voi olla esimerkiksi kaapeli, jonka toisessa päässä on valmiina jokin liitin ja toinen pää kytketään valmistettavaan johtosarjaan kiinteästi. Tällaiset valmiskaapelit ovat yleensä valmistajan testaamia, mutta käytännössä näistäkin löydetään satunnaisesti vikoja. Harvinaisempia vikoja ovat valmiiksi poikki olevat uudet johtimet sekä liitinrungot, jotka kytkevät viereiset liitinkontaktit oikosulkuun liitinrungossa olevan valmistusvian takia.



Technion on johtosarjavalmistuksen alusta asti testannut kaikki valmistamansa tuotteet 100-prosenttisesti [3]. Aluksi johtosarjoja testattiin yleismittarilla. Mutta prosessissa oli suuri mahdollisuus virheisiin, varsinkin jos johtosarjan valmistanut ihminen myös tarkasti sen. Pidettiin myös tärkeänä, että testitapahtumasta jäisi automaattisesti jälki tietokantaan, josta tapahtuma voitaisiin myöhemmin jäljittää. Mikäli asiakkaalle esimerkiksi toimitettaisiin viallinen tuote, voitaisiin jälkeenpäin tarkistaa, oliko tuote varmasti testattu. Myös laatu järjestelmään haluttiin saada testaustietokannasta arvokasta tilastotietoa esimerkiksi ensitestien onnistumisista.

Technionissa on aina tehty johtosarjojen testilaitteistot itse, ja ensimmäiset testauslaitteistot valmistettiin jo 1990-luvun puolessa välissä melko pian johtosarjavalmistuksen alettua [3]. Ensimmäiset testilaitteistot olivat kookkaita ja hieman rajoittuneita toiminnoiltaan. Laitteen etupaneelissa oli valmiina eri tuotteiden vaatimat liittimet mikä kasvatti laitteen kokoa huomattavasti. Laitteistot olivat kuitenkin alusta asti PC-pohjaisia. Käyttöliittymää käytettiin PC:ltä, mikä oli käyttäjän kannalta helppoa. Myös vikadiagnostiikkaa oli kehitetty jonkin verran ja laitteisto osasi kertoa käyttäjälle vinkkejä mahdollisista vikakohdista. Lisäksi kaikki testaustapahtumat tallennettiin testitietokantaan, josta testaustapahtumia oli tarvittaessa helppo etsiä ja analysoida.

### **2.3 Testausjärjestelmän valinta**

Erilaisten johtosarjojen määrä, koko ja vaativuus on kasvanut huomattavasti siitä, mitä ne olivat ensimmäisiä testilaitteistoja suunniteltaessa, ja siksi todettiin tarpeelliseksi uudistaa testauslaitteistoa. Valmiiden johtosarjatestilaitteiden markkinoita tutkittaessa huomattiin, että tarjonta oli yllättävän vähäistä. Valmiiden kaupallisten laitteistojen hinnat olivat myös melko suuria. Tarvetta oli kohtalaisen laajalle testilaitteelle, joka mahdollistaisi useiden satojen testipisteiden kytkemisen. Lisäksi vaatimuksina olivat PC-pohjainen käyttöliittymä ja tuki vikadiagnostiikalle. Tarvittiin myös mahdollisuus tallentaa testidata testitietokantaan, kuten vanhassakin järjestelmässä.

Suoraan Technionin käyttöön sopivaa laitetta ei löytynyt mistään hintaluokasta. Yksi vaihtoehto olisi ollut käyttää kaupallista elektroniikkaa ja rakentaa paremmin omaan käyttöön sopivaa ohjelmistoa PC:lle sekä valmiille elektroniikalle. Tämäkin vaihtoehto olisi kuitenkin tullut kalliiksi ja työlääksi. Koska yrityksellä oli historiaa ja kokemusta testilaitteistojen rakentamisesta, haluttiin tuleva laitteisto suunnitella ja valmistaa itse.

### 3 TESTILAITTEISTON VAATIMUKSET

Laitteen suunnittelua on vaikea aloittaa, jos ei ole tarkkaan selvillä, millainen laitteistosta pitää tulla. Joitakin osakokonaisuuksia voi tosin suunnitella, vaikka kaikki tarvittavat vaatimukset eivät vielä olisi selvillä. Käytännössä lopputulos vastaa kuitenkin parhaiten haluttua, kun ensin selvitetään tarkasti mitä toimintoja laitteiston halutaan toteuttavan. Näin vältetään myös usein suurelta määrältä turhaa työtä. Kun vaatimukset ovat tarkasti selvillä, kirjoitetaan tarkemmat spesifikaatiot laitteistolle ja sen toiminnalle.

Laitteiston vaatimukset käytiin läpi palaverissa ohjelmistosuunnittelijan ja elektroniikkasuunnittelijan kanssa. Palaverissa laadittiin lista tarvittavista ominaisuuksista, joiden pohjalta tehtiin tarkemmat spesifikaatiot. Varsinainen laitteisto- ja elektroniikkasuunnittelu tehtiin spesifikaatioiden pohjalta.

#### 3.1 Toiminnalliset vaatimukset

Testilaitteiston on kyettävä testaamaan johtosarjojen lisäksi myös yksinkertaisia ohjaimia ja releillä toteutettuja ohjauskortteja. Testattavat tuotteet sisältävät pääasiassa johtoja, liittimiä, releitä, merkkilamppuja ja diodeja. Laitteiston ei ole toistaiseksi tarpeen testata virtoja, signaalien taajuuksia tai analogiajännitetasoja. Laitteiston pitää suoriutua johtimien, kytkimien ja releiden kytkennän oikeellisuuden testaamisesta. Johtosarjat sisältävät useasti myös induktiivisia kytkimiä, joiden testauksen pitää myös onnistua.

Technionin vanhoissa testilaitteistoissa on määrätty tulo- ja lähtötestipisteet kiinteästi, mikä hankaloittaa testiohjelmien kirjoittamista sekä testattavien tuotteiden kytkemistä testilaitteistoon. Lisäksi tuotekohtaiset liittimet testilaitteiston liitinpaneelissa kasvattavat laitteiston fyysistä kokoa huomattavasti.

Yksi uuden laitteiston ehdottomia vaatimuksia olikin testipisteiden ohjelmoitavuus. Testiohjelman tekijän pitää voida testiohjelmaa kirjoittaessaan valita ohjelmallisesti testipisteen toiminnallisuus eli määrittää toimiiko testipiste tulona vai lähtönä.

Koko-ongelman ratkaisemiseksi liitinpaneelin haluttiin sisältävän vain yhtä liitintyyppiä. Päätettiin, että sovitussarjoja rakennetaan tuotekohtaisesti ja niiden avulla kytketään testattavat tuotteet testilaitteistoon.

Testattavien tuotteiden käyttöjännite on joko 12 V:n tai 24 V:n tasajännite, joten myös testijännitteen pitää olla ohjelmallisesti valittavissa.

Suunnittelun alkuvaiheessa määrättiin ne sähköiset ominaisuudet, jotka testipisteiltä vaaditaan. Tuotteiden muuttuessa voivat vaatimuksetkin muuttua, joten testilaitteiston rakenne tuli suunnitella niin, että mahdollisten uusien ominaisuuksien lisääminen laitteistoon on mahdollista suhteellisen helposti.

### **3.2 Mekaaniset vaatimukset**

Osa testattavista johtosarjoista on erittäin suuria ja niiden siirtäminen testipaikalle on joissain tapauksissa hankalaa ja aikaa vievää. Tämän vuoksi testilaitteen tulisi olla helposti liikuteltavissa, jotta se voitaisiin helposti siirtää testattavan laitteen kokoonpanopaikalle. Liikuteltavuuden takia laitteistoa ei voi koota kiinteään kalusteeseen.

Testilaitteiston käyttöliittymä ja testausohjelmisto on PC-pohjainen, joten tietokoneen on oltava kiinteä osa testilaitteistoa. Jokaisesta hyväksytystä testistä pitää myös tulostaa testidokumentti, joten laitteistoon tarvitaan tulostin. Pienemmät johtosarjat, ohjaimet ja sähkökeskukset voidaan sijoittaa erilliselle apupöydälle testauksen ajaksi, joten itse testilaitteiston ei tarvitse sisältää tilaa testattavalle tuotteelle.

## 4 SPESIFIKAATIOT

### 4.1 Mekaaniset spesifikaatiot

Laitteistosta suunniteltiin hyvin modulaarinen laajennettavuuden, päivitettävyyden ja huollettavuuden takia. Laitteisto koostuu 42 testipisteen moduuleista, joita laitteistossa voi olla 1 – 15. Tässä työssä rakennettavaan testilaitteistoon tuli 12 testipistemoduulia. Jokainen testipistemoduuli koostuu eri sähköisiä toimintoja varten suunnitelluista piirikorteista. Piirikortteja voidaan lisätä, poistaa tai vaihtaa yksitellen aina jokaista 42 testipisteen moduulia kohden. Liittimenä testipistemoduulissa käytetään aina samanlaista 42-napaista liitintä, joka sijaitsee testipistemoduulin runkona toimivalla liitântäkortilla.

Jotta kaikki tuotannossa olevat johtosarjat voidaan liittää testipenkkiin, tehdään tuotetai liitinkohtaisia adapterijohtoja niin paljon kuin erilaiset tuotteet vaativat. Näin jokainen tuote voidaan liittää testilaitteistoon liitinpaneelin koon kasvamatta yli käytännöllisten mittojen.

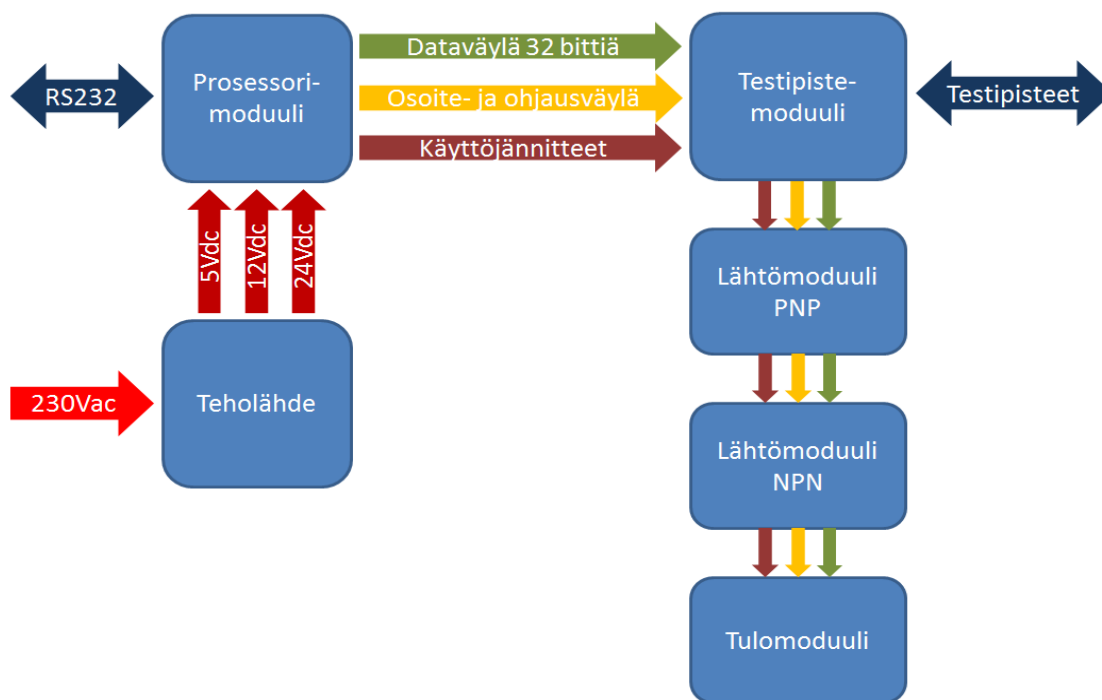
Laitteiston runkona on Trestonin valikoimasta löytynyt tukeva 1 000 mm x 700 mm kokoinen ESD-työpöytä. Pöydän pintaa voidaan käyttää tasona tietokoneelle, jossa sijaitsee testiohjelmisto sekä käyttöliittymä. Testiraportin tulostamiseen käytettävä tulostin on myös pöydällä. Testattava tuote voi olla suoraan työpöydällä, mikäli se on tuotteen koon puolesta mahdollista. Pöytä on varustettu pyörin, joten koko laitteiston siirtäminen tuotannossa on tarvittaessa helppoa. Laitteiston kaikki elektroniikka virtalähteineen on asennettu pöytätasen alle ja koteloitu peltipaneelein.

Takapaneelissa on liitântä verkkosähkölle, virtakytkin, sulake ja sarjaportin liitin. Etupaneelissa on testipisteliitinten lisäksi naparuuvit, joista saadaan ulostulot 12 V:n ja 24 V:n jännitteille sekä virtalähteen maapiste. Näitä ulostuloja voidaan käyttää apuna testattavan laitteen vianhaussa.

### 4.2 Sähköiset spesifikaatiot

Järjestelmän käyttöliittymä ja varsinainen testausohjelmisto ovat PC-pohjaiset. Koko järjestelmän ohjelmiston on suunnitellut yrityksen ohjelmistosuunnittelija, sähköisen ja

mekaanisen toteutuksen on suunnitellut Mika Vainiotalo. Tästä syystä ohjelmistoon ei tässä työssä paneuduta sen tarkemmin.



**Kuva 2.** Testilaitteiston lohkokaavio

Testilaitteiston lohkokaavio (kuva 2) suunniteltiin spesifointivaiheessa. Testilaitteisto saa käyttösähkönsä verkkosähköstä, josta tehdään kolmella hakkuriteholähteellä 5 V:n käyttöjännite elektroniikalle sekä 12 V:n ja 24 V:n testijännitteet.

Suurin osa tuotteista toimii 24 V:n jännitteellä, koska tämä on selvästi yleisin käyttöjännite työkoneissa ja raskaissa ajoneuvoissa. Osa pienemmistä autoista ja koneista saattaa kuitenkin toimia 12 V:n jännitteellä, joten myös 12 V:n käyttöjännitteelle on tarvetta. Tämän vuoksi testilaitteistossa on mahdollista käyttää sekä 12 V:n että 24 V:n testausjännitettä. Halutun testijännitteen voi valita ohjelmallisesti.

Testipisteiden ei useimmissa testitapauksissa tarvitse pystyä syöttämään suuria määriä virtaa. Käytännössä johtosarja vain kytkee lähtönä toimivan testipisteen takaisin toiselle testipisteelle, jossa kuormana on vain laitteiston tulokortin tulon kytkentä, jonka haluttiin kuormittavan hyvin vähän, vain muutaman mA. Joissain tapauksissa voi kuitenkin olla tarpeen sytyttää merkkilamppu, aktivoida releen kela tai ohjata pienitehoista alle

30 W:n venttiilin kela. Tämän vuoksi päädyttiin määrittelemään testipisteen maksimi virranantokyvyksi 3 A 12 V:n jännitteellä.

Testipisteiden sähköiset ominaisuudet määriteltiin seuraaviksi:

- Testipisteen toiminnallisuus on ohjelmoitavissa testipistekohtaisesti.
- Testipisteen kytkeminen 12 V tasajännitteeseen, maksimi virta 3 A.
- Testipisteen kytkeminen 24 V tasajännitteeseen, maksimi virta 2 A.
- Testipisteen kytkeminen maatasoon, maksimi virta 2 A.
- Jännitteen tunnistaminen testipisteessä, 8 V raja-arvo.
- Tuloissa ylösvetovastukset 2,7 kΩ.

Testipisteen tunnistamalle jännitteelle haluttiin asettaa raja-arvo, jotta mahdollisesti johtosarjan johtimista toiseen indusoituvat heikot jännitteet eivät aiheuttaisi ongelmia testauksessa. Myös tulon pieni muutaman mA:n kuormitus auttaa poistamaan tätä ongelmaa.

Testipisteen pitää jännitteen lisäksi pystyä tunnistamaan onko testipiste kytketty mahdollisesti maatasoon. Tätä varten tarvitaan ohjelmoitava ylösvetovastus jokaista testipistettä kohti.

Analogisten jännitetasojen tai virtasignaalien generoimiselle tai mittaamiselle ei ollut suunnitteluhetkellä tarvetta. Testilaitteisto suunniteltiin kuitenkin niin, että testipisteiden ominaisuuksien lisääminen on jälkeenpäin mahdollista, mikäli siihen ilmenee tarvetta.

Testipistemoduulien välillä kulkee 12-johtiminen linja, josta testipistemoduulit saavat käyttö- ja testausjännitteet. Samaan linjaan on myös varattu johtimia mahdollisia tulevia laajennuksia ja niiden vaatimia signaaleja ja jännitteitä varten.

Laitteiston prosessorikortilta lähtee 50-napainen lattaakaapeli, joka liittyy jokaiseen testipistemoduuliin. Tätä lattaakaapelia pitkin kulkee data-, osoite- ja ohjausväylät prosessorikortin ja testipistemoduulien välillä. Testipistemoduulin rungon muodostaa liitántäpiirilevy, jolla sijaitsee 42-napainen liitin testikaapeleiden kytkentää varten.

## 5 SUUNNITTELU

Spesifiointivaihe on jo käytännössä laitteiston suunnittelua. Spesifiointivaiheessa suunniteltiin laitteiston varsinainen fyysinen rakenne sekä osittain sähköistä rakennetta. Koska laitteistosta tehtiin modulaarinen, oli luonnollista jakaa sähköiset toiminnot eri piirilevyille. Laitteiston toiminnallinen järjestelmäsuunnittelu olikin yksi spesifioinnin eikä niinkään elektroniikkasuunnittelun vaihe.

### 5.1 Elektroniikkasuunnittelu

Spesifikaatioiden valmistuttua aloitettiin varsinainen elektroniikkasuunnittelu piirilevy kerrallaan. Ensimmäiseksi suunniteltiin laitteiston prosessorikortti, jolla sijaitsee järjestelmän mikro-ohjain ja jonka ympärille rakentuu koko laitteiston toiminta. Väylärakenne on hajautettu laitteistoon jokaiselle piirilevyille, mutta prosessorikortti luo pohjan väylän toiminnalle. Väylän suunnitteluun vaikuttaa suoraan käytettävä mikro-ohjain. Siksi oli loogista lähteä liikkeelle mikro-ohjaimen valinnasta. Käytettäväksi valitun mikro-ohjaimen I/O ei riittänyt suoraan muodostamaan vaadittavaa määrää signaaleja, jotta väylärakenne olisi pystytty toteuttamaan. Yksi vaihtoehto olisi ollut käyttää mikro-ohjainta, jossa olisi laajempi I/O-rajapinta. Laitteistossa haluttiin kuitenkin käyttää mikro-ohjainta, joka oli jo yrityksessä käytössä. Näin säästettiin sekä laitteiston, että varsinkin ohjelmiston suunnitteluun vaadittavaa aikaa. Lisäksi valitulle mikro-ohjaimelle oli käytössä tähänkin laitteistoon sopiva I/O-laajenninpiiri.

Väylän suunnittelu oli seuraava vaihe mikro-ohjaimen valinnan jälkeen. Väylä toteutettiin digitaalilogiikkapiirein. Käytännön apuna suunnittelussa olivat alan kirjallisuus [1] sekä komponentti-valmistajan datalehdet ja datakirjat, joista etsittiin sopivia logiikkapiirejä.

Prossessorikortin jälkeen suunniteltiin liitäntäkortti, jossa sijaitsevat liittimet testipisteitä sekä toimintokortteja varten. Liitäntäkortin suunnittelussa yksi tärkeimpiä asioita olivatkin liittimet, joilla testipisteet ja toimintokortit liitetään. Liittimien tuli olla luotettavia, edullisia ja helposti saatavilla. Varsinkin testipisteliittimen tuli olla hyvin käyttöä ja kulutusta kestävä, koska sovitejohtoja vaihdellaan useita kertoja päivässä kun erilaisia tuotteita testataan.

Viimeisenä suunniteltiin toimintokortit. Korteille valittiin vaatimukset täyttävät puolijohdelähtöpiirit, joilla saadaan testipiste kytkettyä testijännitteeseen sekä maahan.

Tulokortilla on optisesti erotetut tulot galvaanista erotusta varten, sekä ohjelmoitavat ylösvetovastukset. Väylätoiminnoiltaan kaikki toimintokortit ovat käytännössä samanlaiset.

Piirilevyjen suunnittelu tehtiin PADS-ohjelmistolla. PADS sisältää piirikaavion ja piirilevyn suunnitteluohjelmistot. Laitteistossa käytettäviä komponentteja oli valmiina PADS:n kirjastoissa melko vähän, joten myös suurin osa komponenteista jouduttiin piirtämään PADS:n kirjastoon.

## **5.2 Mekaniikkasuunnittelu**

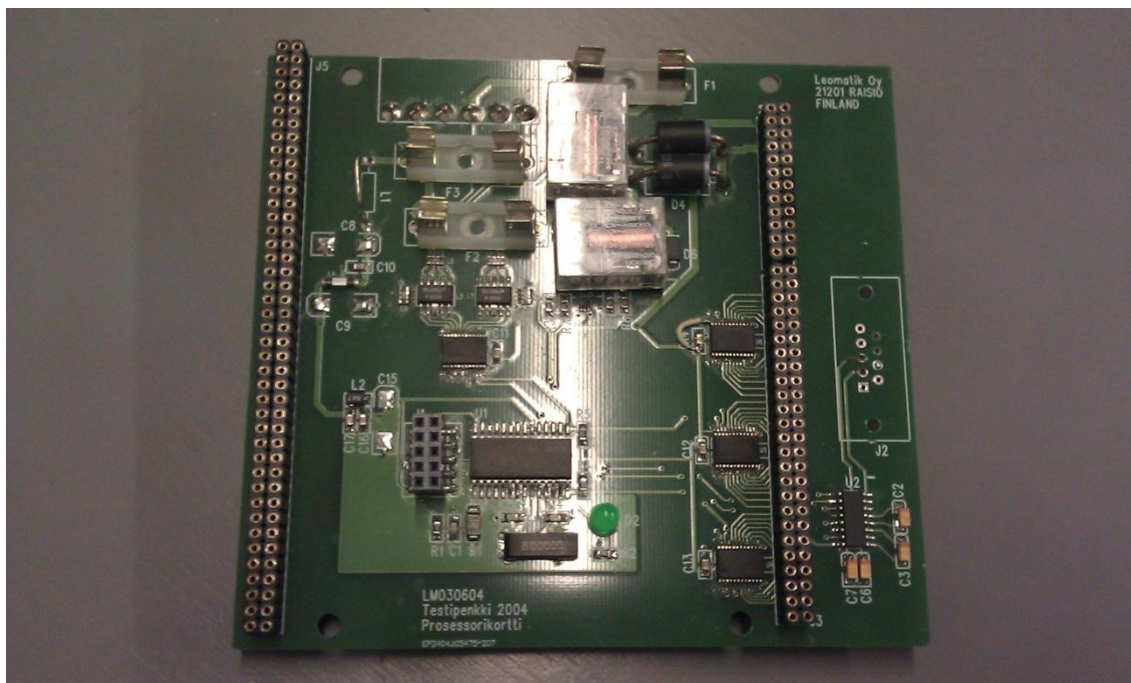
Laitteiston rungoksi oli valittu Trestonin ESD-työpöytä, jonka pöytäpinnan alle piti sijoittaa laitteiston elektroniikka. Elektroniikan koteloksi suunniteltiin pellit pöydän joka sivulle aivan pöytäpinnan alle. AutoCad-ohjelmalla piirrettiin sopivat pellit, jotka voitaisiin kiinnittää pöydän jalkoihin. Näin saatiin sopiva tila elektroniikalle ja teholähteille. Pelteihin suunniteltiin myös kiinnitykset testipistemoduuleille, virtalähteille ja muille tarvittaville liittimille.

Laitteiston sisäistä johdotusta ei yksinkertaisuutensa vuoksi suunniteltu etukäteen, vaan johdotus rakennettiin suoraan kokoonpanon yhteydessä.



## 6 LAITTEISTO

### 6.1 Prosessorikortti



**Kuva 3.** Prosessorikortti

Kuvan 3 prosessorikortilla sijaitsee laitteiston mikro-ohjain, joka ohjaa koko laitteiston toimintaa. Koska käyttöliittymä ja varsinaiset testiohjelmat sijaitsevat PC:llä, ei mikro-ohjaimelta vaadita erityisen suurta suoritustehoa. Mikro-ohjaimeksi valittiin Technionissa suunnittelun aloitushetkellä käytössä ollut PIC18F258 mikro-ohjain. Ennestään käytössä olevaa mikro-ohjainta käytettiin ohjelmistotyön vähentämiseksi. Myös aikataulu nopeutui, koska yrityksessä oli valmista ohjelmakoodia kirjoitettuna PIC18F258 mikro-ohjaimelle.

Piirilevyllä on neljä 16-bittistä PCA9555 I/O-laajenninpiiriä, jotka on kytketty mikro-ohjaimeen I<sup>2</sup>C-väylällä. Näistä kolmea piiriä käytetään muodostamaan laitteiston sisäiset data-, ohjaus- ja osoiteväylät. Kuvassa 4 on I/O-laajenninpiirin kytkentä, jolla muodostetaan ohjaus- ja osoiteväylä.

32-bittisellä dataväylällä liikkuu tieto prosessorikortilta testipistemoduuleille sekä testipistemoduuleilta prosessorikortille.

**Taulukko 1.** Data-, osoite- ja ohjausväylien signaalit

komponentti	signaali	selite	komponentti	signaali	selite
U4	DATA0	dataväylän bitti 1	U6	ADD0	testipistemuodulin osoite bitti 1
	DATA1	dataväylän bitti 2		ADD1	testipistemuodulin osoite bitti 2
	DATA2	dataväylän bitti 3		ADD2	testipistemuodulin osoite bitti 3
	DATA3	dataväylän bitti 4		ADD3	testipistemuodulin osoite bitti 4
	DATA4	dataväylän bitti 5		ADD4	piirikortin osoite bitti 1
	DATA5	dataväylän bitti 6		ADD5	piirikortin osoite bitti 2
	DATA6	dataväylän bitti 7		ADD6	piirikortin osoite bitti 3
	DATA7	dataväylän bitti 8		ADD7	piirikortin osoite bitti 4
	DATA8	dataväylän bitti 9		ADD8	piirikortin sisäinen osoite bitti 1
	DATA9	dataväylän bitti 10		ADD9	piirikortin sisäinen osoite bitti 2
	DATA10	dataväylän bitti 11		ADD10	piirikortin sisäinen osoite bitti 3
	DATA11	dataväylän bitti 12		ADD11	piirikortin sisäinen osoite bitti 4
	DATA12	dataväylän bitti 13	U1	R/W	luku / kirjoitus, apubitti
	DATA13	dataväylän bitti 14		OE	ulostulo sallittu, apubitti
	DATA14	dataväylän bitti 15		MCLK	kellobitti
	DATA15	dataväylän bitti 16		DIR	suuntatieto, apubitti
U5	DATA16	dataväylän bitti 17		PDET	testipistemuoduli aktiivinen
	DATA17	dataväylän bitti 18		CDET	piirikortti aktiivinen
	DATA18	dataväylän bitti 19			
	DATA19	dataväylän bitti 20			
	DATA20	dataväylän bitti 21			
	DATA21	dataväylän bitti 22			
	DATA22	dataväylän bitti 23			
	DATA23	dataväylän bitti 24			
	DATA24	dataväylän bitti 25			
	DATA25	dataväylän bitti 26			
	DATA26	dataväylän bitti 27			
	DATA27	dataväylän bitti 28			
	DATA28	dataväylän bitti 29			
	DATA29	dataväylän bitti 30			
	DATA30	dataväylän bitti 31			
	DATA31	dataväylän bitti 32			

Osoiteväylä koostuu 12 bitistä, jotka on jaettu kolmeen neljän bitin ryhmään. Jokaisella osoiteryhmillä on oma tehtävänsä. Ensimmäiset neljä bittiä ovat testipistemuodulin osoite. Lähettämällä väylälle halutun testipistemuodulin osoite saadaan haluttu testipistemuoduli aktivoitua käyttöön. Testipistemuodulin runkona toimivaan liitäntäkorttiin on kytketty jokaista tarvittavaa sähköistä toimintoa vastaava piirilevy ja seuraavilla neljällä bitillä voidaan aktivoida haluttu piirilevy. Viimeiset neljä bittiä ilmaisevat piirilevyn sisäisen osoitteen. Nämä ovat niin sanottuja piirivalinta-bittejä, joilla voidaan aktivoida muun muassa halutut väyläpuskurit piirilevyltä.

Ohjausväylä on 6-bittinen ja koostuu kuudesta oman toiminnon omaavasta bitistä. *PDET*- ja *CDET*-bitit ja *MCLK*-signaali ovat yksiselitteisiä, niille on olemassa vain yksi käyttötarkoitus ja ne ovat käytössä jokaisessa testipistemuodulissa. *R/W*, *OE* ja *DIR*-bitit ovat apubittejä, joita voidaan tarvittaessa käyttää testipistemuodulin tai toimintopiirilevyn sisällä ohjaustoimintoihin.

*PDET*-bitti on takaisinkytkentä testipistemoduulin liityntäkortilta prosessorikortille. Tätä signaalia tarkkailemalla voidaan varmistaa, että väylältä löytyi pyydetyn osoitteen omaava testipistemoduuli ja että se kytkeytyi aktiiviseksi.

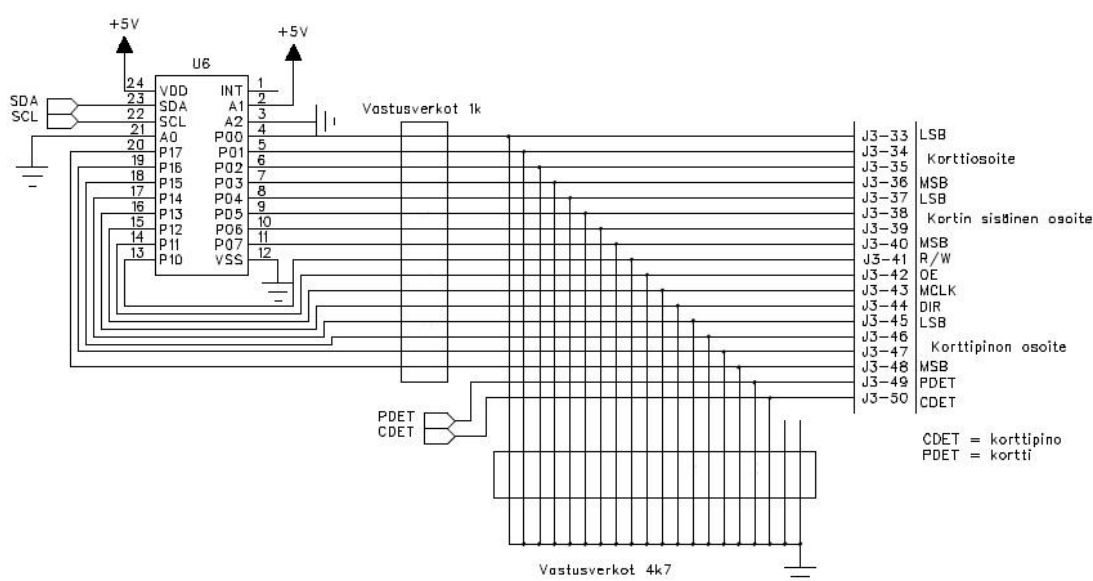
*CDET*-bitti on vastaava takaisinkytkentäsignaali kuin *PDET*-bitti, mutta tällä voidaan varmistua halutun toimintopiirilevyn aktivoituminen valitulta testipistemoduulilta.

*MCLK* on mikro-ohjaimen generoima järjestelmän master-kellosignaali, jolla ajoitetaan kaikki väylien loogiset toiminnot.

*R/W*-bittiä voidaan käyttää tarvittaessa luku- tai kirjoitustilan valitsemiseen logiikkapiirille tai toimintolohkolle.

*OE*-bittiä voidaan käyttää tarvittaessa toiminnon sallintaan tai eväämiseen.

*D/R*-bittiä voidaan käyttää tarvittaessa suuntabittinä. Testipistemoduulin liitântäkortilla käytetään tätä bittiä valitsemaan väylän suunta. Väylälle kirjoitetaan joko dataa eli asetetaan lähtöjä haluttuun tilaan tai siltä luetaan testipisteiden tilatietoja.



**Kuva 4.** PCA9555 I/O-piirin kytkentä, osoite- ja ohjausväylä

Käyttöjännitelinjassa on jännite aina kun laitteisto on päällä. Myös testipistemoduulien elektroniikka käyttää tätä 5 V:n jännitettä digitaalilogiikan käyttöjännitteenä. Prosessorikortilla on sulake käyttöjännitelinjaa varten. Lisäksi jännitteen syötössä on LC-alipäästösuodatin sekä EMI-suodatin. Suodattimien tarkoitus on poistaa piirilevyllä

syntyviä häiriöitä, jotka voisivat aiheuttaa EMC-ongelmia. Prosessorin jännitteen syötössä on prosessorin välittömässä läheisyydessä lisäksi sarjakela ja vaadittavat kondensaattorit. PIC:llä on taipumuksena saada aikaan korkeataajuinen komponentti käyttäjännitteeseen kellotaajuuden kerrannaistajuuksille. Nämä tulevat ikävästi esille EMC-mittauksessa ellei niitä ole asianmukaisesti vaimennettu sopivalla kytkennällä.

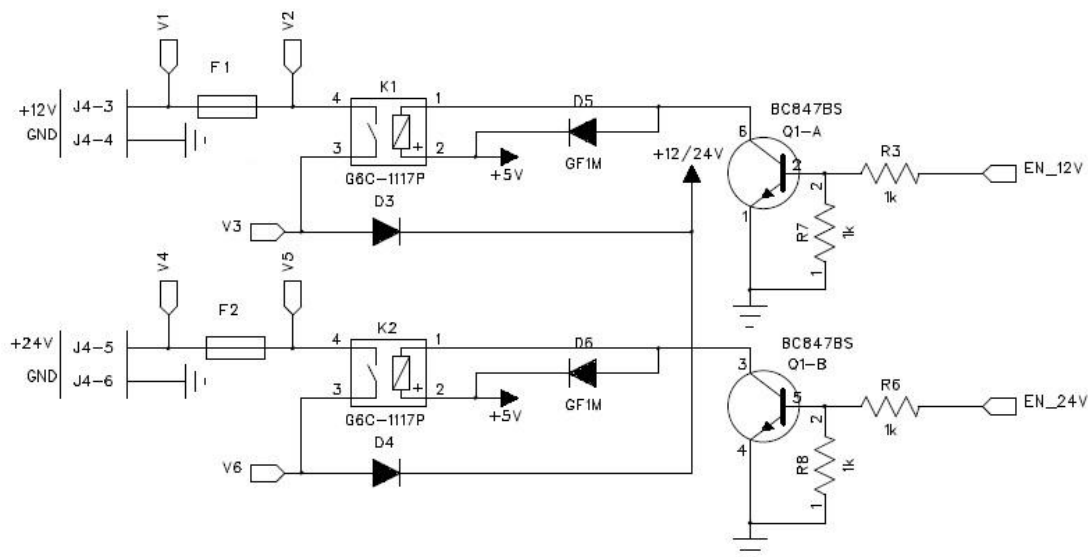
**Taulukko 2.** Käyttö- ja testijännitteet

liitin	kontakti	selite
J7	1	5 V käyttäjännite elektroniikalle
	2	GND
	3	12 V / 24 V testijännite
	4	GND
	5	kuormalinja 1, optio
	6	kuormalinja 2, optio
	7	analogiamittaus 1, optio
	8	analogiamaa 1, optio
	9	analogiamittaus 2, optio
	10	analogiamaa 2, optio
	11	referenssi 1, optio
	12	referenssi 2, optio

Prossessorikortilla on kaksi relettä, joiden kautta kytketään joko 12 V:n tai 24 V:n jännite testipistelinjaan. Linja on jännitteisenä vain testiprosessin aikana. Piirilevyllä on suojana releiden syötössä lasiputkisulakkeet, jotka irrottavat vikatilanteessa teholahteet laitteiston elektroniikasta. Kuvassa 5 on esitelty testijännitteen valintakytkentä.

Sulakkeiden ja releiden toimintaa varten on piirilevyllä valvonta. Mittauspisteitä on ennen kumpaakin sulaketta, sulakkeiden jälkeen sekä releiden jälkeen. Mittauspisteistä menee tieto mikro-ohjaimelle. Näin voidaan tunnistaa sulakkeen laukeaminen tai releen vaurioituminen. Mittaukset ovat on/off-tyyppiset, eli laite tunnistaa ainoastaan sen onko mittapisteessä jännitettä vai ei. Mittaukset olisi voinut toteuttaa myös analogiamittauksina, jolloin olisi saatu tieto jännitteen suuruudesta mittauspisteessä, mutta tätä ominaisuutta ei pidetty tarpeellisenä. Mittapisteet on kytketty optoerottimen kautta PCA9555 I/O-laajenninpiirille, joka kommunikoi mikro-ohjaimen kanssa I<sup>2</sup>C-väylällä.

Mittapisteet haluttiin erottaa galvaanisesti I/O-laajenninpiiristä, jotta mahdolliset jännitepiikit testijännitelinjassa eivät pääsisi aiheuttamaan vikaantumista prosessorikortin elektroniikkaan.



**Kuva 5.** Testausjännitteen valintakytkentä

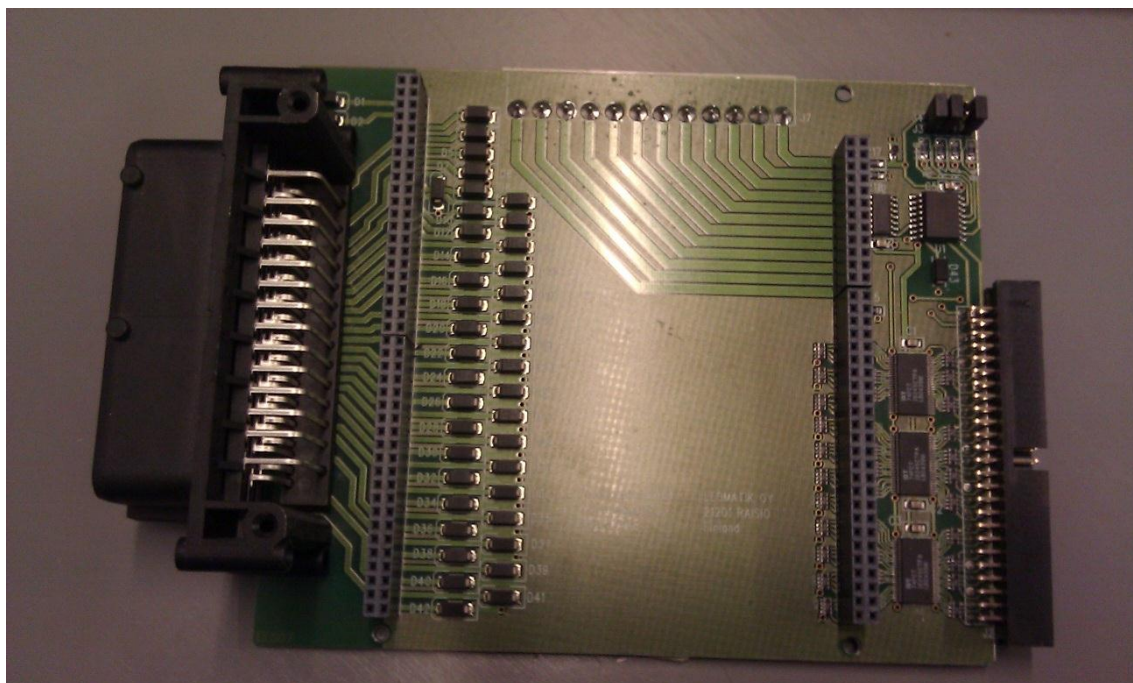
RS232-lähetinvastaanotinpiiriksi valittiin Texas Instrumentsin MAX232. MAX232 on kompakti ja helppokäyttöinen RS232 lähetinvastaanotinpiiri joka ei vaadi erillistä 12 V:n jännitelähdettä. Piirissä on sisäänrakennettu kytkentä, joka muodostaa RS232-sarjaväylän vaatiman 12 V:n jännitteen ja tarvitsee toimiakseen vain neljä ulkoista kondensaattoria.

## 6.2 Liitântäkortti

Kuvassa 6 oleva liitântäkortti muodostaa testipistemoduulin rungon. Kaikki toimintokortit asennetaan rinnakkain liitântäkorttiin.

Liitântäkortilla on 42-napainen AMP-testipisteliitin, johon testattava tuote kytketään adapterijohdon avulla. Testipisteliittimen vieressä on holkkirima, jonka kautta kaikki 42 testipistettä kytketään toimintokortteihin. Liitântäkortilla sijaitsee myös yksi GF1M-diodi jokaista testipistettä kohden. Testattavissa tuotteissa voi mahdollisesti olla induktiivinen kuorma, joka aiheuttaa negatiivisen jännitepiikin testijännitteen kytkeytyessä pois

päältä. Diodit leikkaavat mahdollisesti muodostuvan itseinduktiojännitteen noin 1 V:n tasoon, jotta toimintokorttien elektronikka ei vahingoitu.



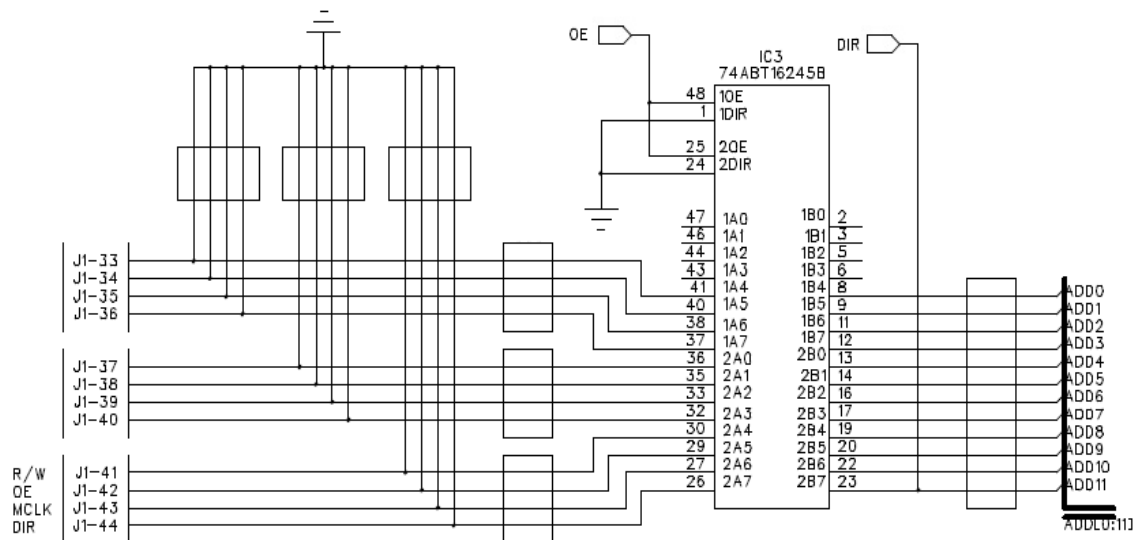
**Kuva 6.** Liitäntäkortti

Liitäntäkortille tuodaan prosessorikortilta data-, osoite- ja ohjausväylät 50-napaisella lattakaapelilla. 4-bittinen testipistemoduulin osoiteväylä vie 74LS85 komparaattoriin. Piirilevyn oikeassa ylänurkassa on neljä jumpperia, joilla jokaiselle testipistemoduulille valitaan yksilöllinen osoite 1 – 15. Kun väylällä oleva osoite ja jumppereilla valittu osoite on sama, komparaattorin lähtö aktivoi piirilevyllä olevat 16-bittiset kaksisuuntaiset 74ABT16245 väyläpuskuripiirit.

Komparaattorin lähdöstä otetaan myös *PDET*-bitti, joka kertoo laitteiston mikro-ohjaimelle, että pyydetyn osoitteen omaava testipistemoduuli löytyi väylältä.

Koko 32-bittinen dataväylä sekä loput osoite- ja ohjausväylän bitit on puskuroitu väyläpuskuripiireillä. Kaksi väyläpuskuria on pelkästään dataväylälle ja näitä ohjataan myös ohjausväylän *DIR*-bitillä, jotta dataväylä saadaan kaksisuuntaiseksi. Kuvassa 7 on esitetty, miten osoiteväylän puskurointi on toteutettu yhdellä 74ABT16245-väyläpuskuripiirillä. Ohjaus- ja osoiteväylät ovat yksisuuntaiset, joten niiden

puskurointiin käytettävä väyläpuskuri on asetettu kiinteästi sallimaan liikenne vain väylältä kortille päin. Väylä tuodaan holkkirimalle, johon liitetään toimintokortit. Holkkiriman läheisyydessä on myös väylän alavetovastukset.



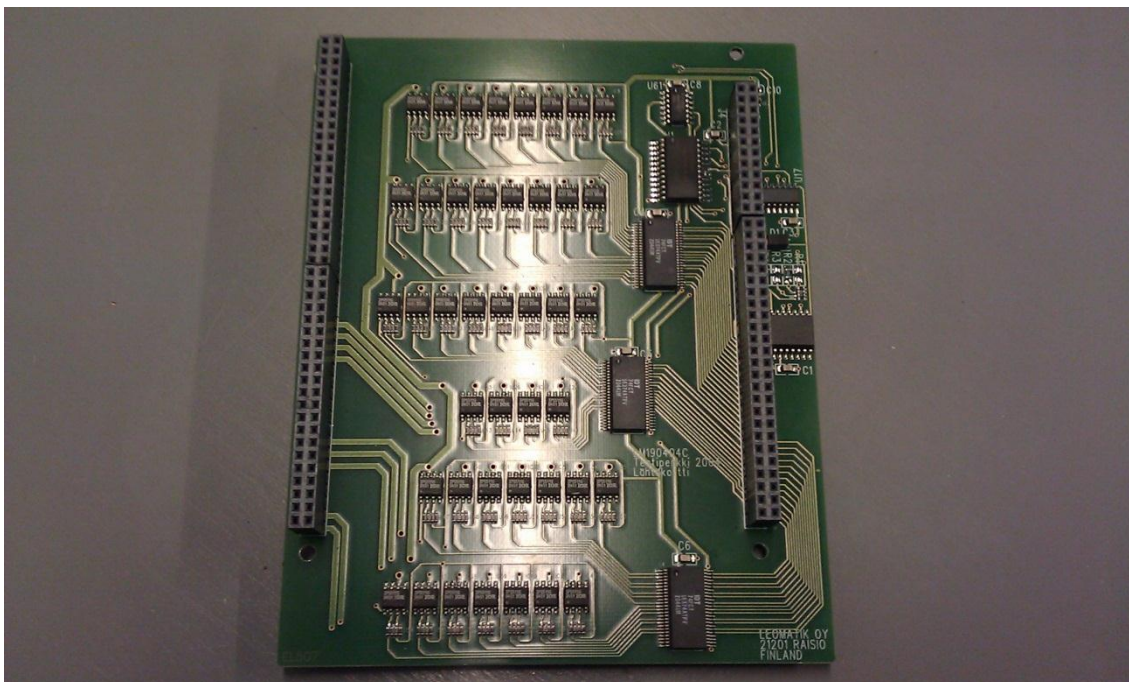
**Kuva 7.** Osoiteväylän puskurointi liitântäkortilla

Myös testausjännitteet kytketään liityntäkortille, josta ne viedään suoraan holkkirimalle. Testausjännitteet kytkeytyvät toimintokortille holkkiriman kautta.

### 6.3 Lähtökortti PNP

Kuvassa 8 olevan ensimmäiseksi suunnitellun lähtökortin tehtävä on kytkeä jokaiseen testipisteeseen 12 V:n tai 24 V:n jännite riippuen testattavan laitteen käyttöjännitteestä. Pelkälle johtosarjalle, joka sisältää vain johtoja ja liittimiä, ei testausjännitteellä ole oikeastaan mitään merkitystä, mutta käytännössä tapana on ollut testata sarjat samalla jännitteellä, jolla niitä tullaan asiakkaan tuotteessa käyttämään.





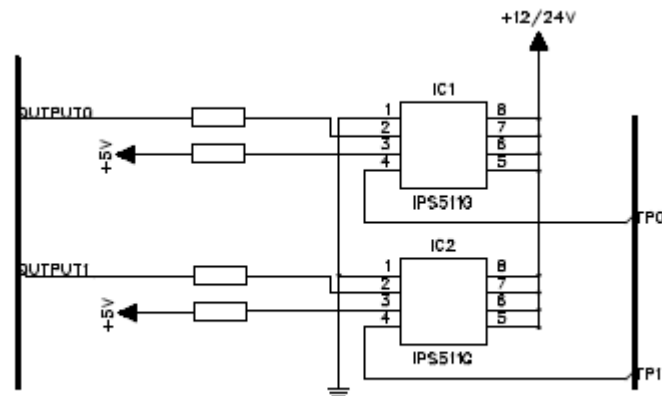
**Kuva 8.** Lähtökortti PNP

Koska testattavassa tuotteessa voi olla usein oikosulkuja, oli tärkeää, että lähdöt on suojattu hyvin oikosulkua, ylivirtaa sekä ylikuumenemista vastaan. Lisäksi yksittäisen lähdön tuli kyetä syöttämään 3 A:n virta spesifikaatioiden mukaisesti. Yksi vaihtoehto olisi ollut toteuttaa lähdöt erillistransistorein, mutta tämä ratkaisu olisi vienyt paljon tilaa, koska se olisi tarvinnut runsaasti komponentteja, jotta kaikki vaaditut toiminnot olisi saatu toteutettua. Siksi päädyttiin käyttämään MOSFET-kytkinpiiriä, jonka avulla saatiin toteutettua vaaditut ominaisuudet helposti ja tilaa säästäen. Kytkinpiirin käyttäminen on myös edullisempi vaihtoehto kuin irtokomponenteista kytkennän rakentaminen.

MOSFET-kytkinpiiri sisältää tyypillisesti tehotransistoriasteen, jolla ohjataan kuormaa. Lisäksi piiri sisältää lämpötila-, ylivirta- sekä oikosulkusuojauksen tehoasteelle. Kytkinpiirissä on logiikkatasoiset ohjausnastat, jotka voidaan kytkeä suoraan mikro-ohjaimen I/O-porttiin. Joissain kytkinpiireissä on myös status-lähtö, josta saadaan esimerkiksi mikro-ohjaimelle tieto oikosulusta.

Kytkinpiirejä on saatavilla useammaltakin eri valmistajalta, ja vertailua tehtiin valmistajien datalehtien perusteella. Kriteereinä olivat spesifikaatioiden täyttämisen lisäksi hyvä saatavuus ja edullinen hinta.





**Kuva 8.** IPS511G kytkentä testipisteissä TP0 ja TP1

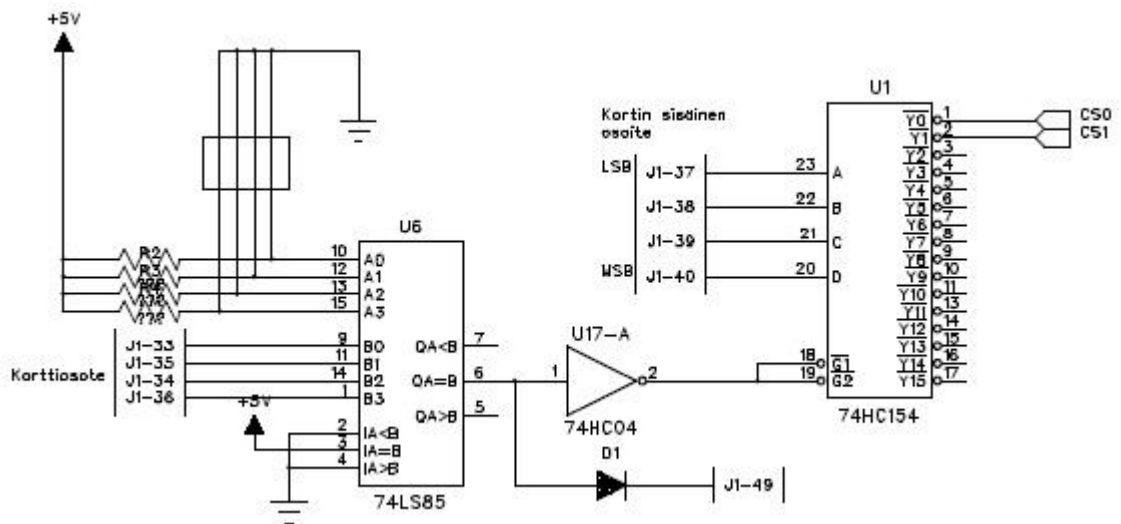
Kytkinpiirinä päädyttiin käyttämään International Rectifierin IPS511G-piiriä, jonka kytkentä on kuvassa 8. Piiri täytti kaikki vaaditut ominaisuudet ja piiristä oli aikaisempaa kokemusta Technionin tuotteissa. Piirin maksimivirranantokyky on 5 A vaaditun 3 A:n sijasta, mutta tästä ei ole käytännössä mitään haittaa. Piiri sisältää täydellisen suojauksen oikosulkua, ylivirtaa ja ylikuumentumista vastaan. Lisäksi piirissä on sisäänrakennettu ESD-suojaus, joka on tällaisessa testilaitteistossa erittäin tarpeellinen ominaisuus. Ylivirta- ja oikosulkusuojaus perustuvat piirin sisäiseen lämpötilavalvontaan. Kun piirin lähtövirta saavuttaa 5 A:n arvon, alkaa piiri rajoittaa lähtövirtaa, joka kuumentaa piiriä. Kun piirin sisäinen lämpötila saavuttaa tietyn raja-arvon, lähtö kytkeytyy pois päältä. Lähtö kytkeytyy automaattisesti takaisin piirin sisälämpötilan laskettua 7 °C.

Piirissä on myös status-lähtö, josta saadaan haluttaessa tieto mikro-ohjaimelle esimerkiksi oikosulkutilanteesta. Tätä ominaisuutta ei kuitenkaan nähty tarpeelliseksi ottaa käyttöön. Testilaitteistossa on kuitenkin joka testipistemoduulissa oma tulokortti, jolla on digitaalitulot. Näitä tuloja voidaan käyttää suoraan myös indikoimaan lähtöpiirien tilaa. Piirilevyllä on yhteensä 42 IPS511G-piiriä, yksi jokaista testipistettä varten.

Liitântäkortin kautta lähtökortille tulee myös dataväylä, osoite- ja ohjausväylä sekä testijännitelinja ja 5 V:n käyttöjännite logiikkapiireille.

Liitântäkortin kautta tulee 4-bittinen korttiosoite, joka tuodaan jokaiseen testipistemoduulissa olevan toimintokortin 74LS85-komparaattoriin B-tuloon (kuva 9).

Jokaisella eri toiminnon omaavalla toimintokortilla on oma osoitteensa ja tämä on ladonnassa asetettu kiinteästi vastuksilla komparaattoriin A-tuloon. Osoitteiden ollessa samat komparaattorin lähtö aktivoi 74HC154-demultiplekserin, jolle tuodaan myös liitäntäkortin kautta 4-bittinen piirilevyn sisäinen osoite. Komparaattorin lähdöstä saadaan myös *CDET*-bitti vietäväksi takaisin mikro-ohjaimelle. Demultiplekserilla tehdään kaksi vuoroittain aktivoitavaa valintasignaalia *CS0* ja *CS1*, joilla aktivoidaan kolmea 74ACT16374 D-kiikkua kahdessa ryhmässä. D-kiikkujen lähdöt on kytketty ohjaamaan suoraan IPS511G-kytkinpiirejä. Kolmen 74ACT16734-piirin ja lähtökortin sisäisen osoitteen avulla voidaan ohjata kaikkia 42:ta kytkinpiiriä 32-bittisen dataväylän avulla.

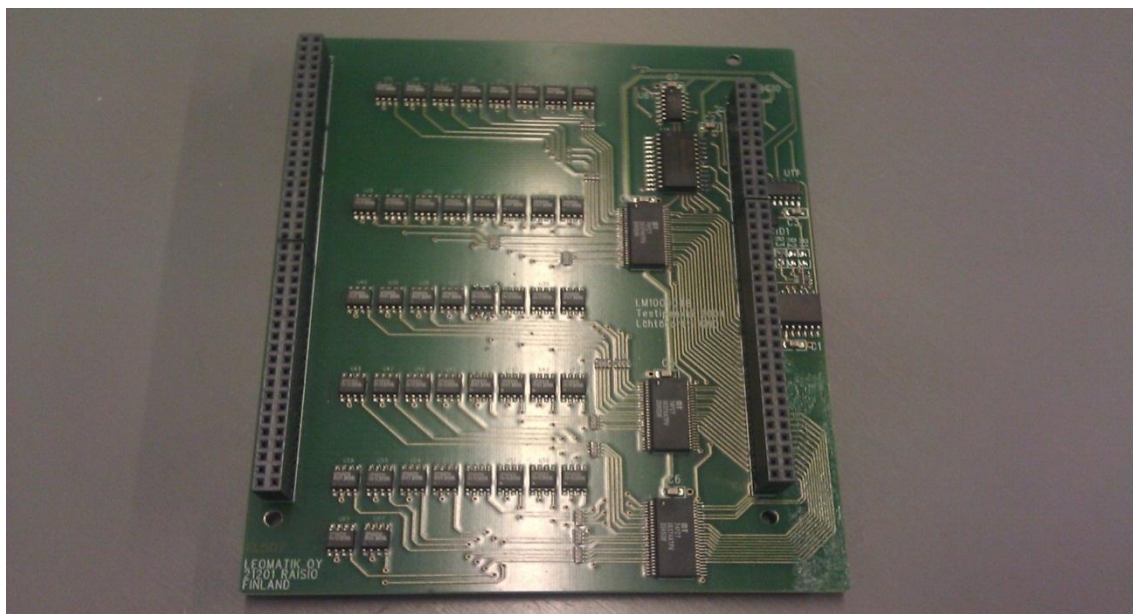


**Kuva 9.** Osoitteiden käsittely

## 6.4 Lähtökortti NPN

Seuraavaksi suunniteltiin lähtökortti, jolla voidaan kytkeä haluttu testipiste maatasoon. Tätä ominaisuutta tarvitaan esimerkiksi releiden ja merkkilamppujen testaamiseen. Lähtökortti NPN on lähtöpiirin tyyppiä lukuunottomatta identtinen luvussa 6.3 esitellyn lähtökortti PNP:n kanssa, joten tässä yhteydessä keskitytään ainoastaan lähtöpiirin ominaisuuksiin.

Lähtöpiiri NPN-kortille haluttiin valita samasta piiriperheestä kuin PNP-kortilla oleva lähtöpiiri. Samaan perheeseen kuuluukin maahan kytkävä IPS031G MOSFET-kytkinpiiri, joka sopi käyttötarkoitukseen hyvin. Piiri on samassa 8-nastaisessa SOIC-kotelossa kuin toisella lähtökortilla käytetty IPS511G, mutta nastajärjestys on eri, joten jouduttiin piirtämään yksi erilainen piirilevy lisää (kuva 10).



**Kuva 10.** Lähtökortti NPN

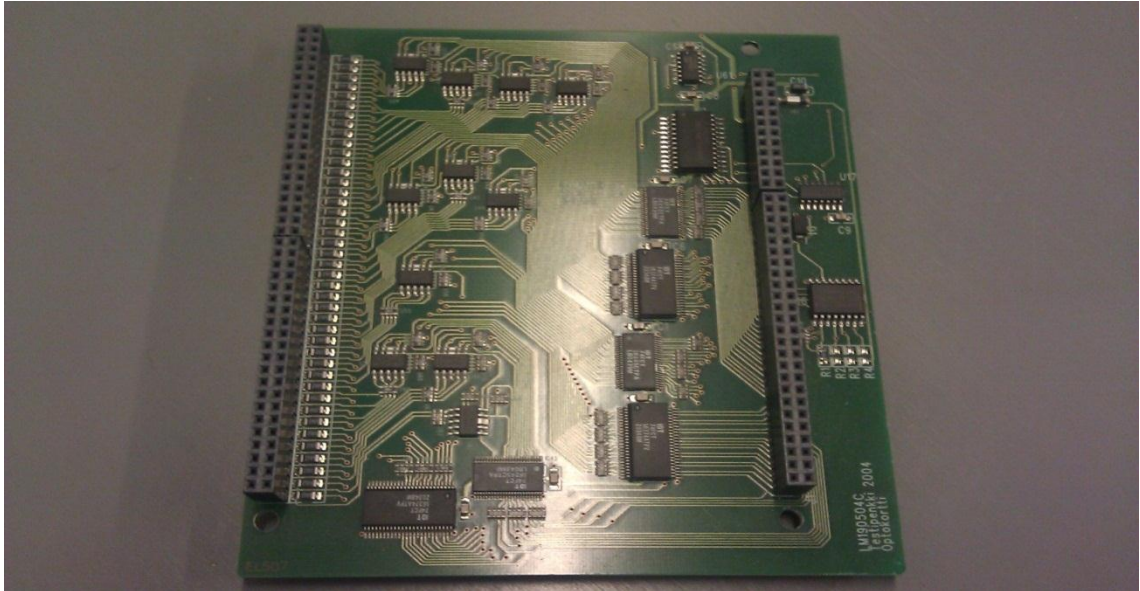
Piiri sisältää vastaavat täydelliset oikosulku-, ylivirta- ja ylikuumenemissuojat kuin IPS511G. Myös vaadittu ESD-suojaus löytyy. Piirin läpi voi kulkea maksimissaan 12 A virta ennen kuin ylivirtasuoja katkaisee toiminnan. Ylivirtatilanteen jälkeen piirin tulonasta pitää käyttää ei-aktiivisessa tilassa ennen kuin piiri voi palata normaalitoimintatilaan.

## 6.5 Tulokortti

Viimeisenä piirilevynä suunniteltiin kuvan 11 tulokortti, jolla sijaitsevat digitaalitulot sekä ylösvetovastukset. Lähtökorttien kytkinpiirit syöttävät johtosarjaan joko 12 V:n tai 24 V:n jännitteen tai kytkivät halutun pisteen maatasoon. Näin ollen tulokortin on kyettävä tunnistamaan sekä jännite testipisteessä että maapotentiaalin olemassaolo.

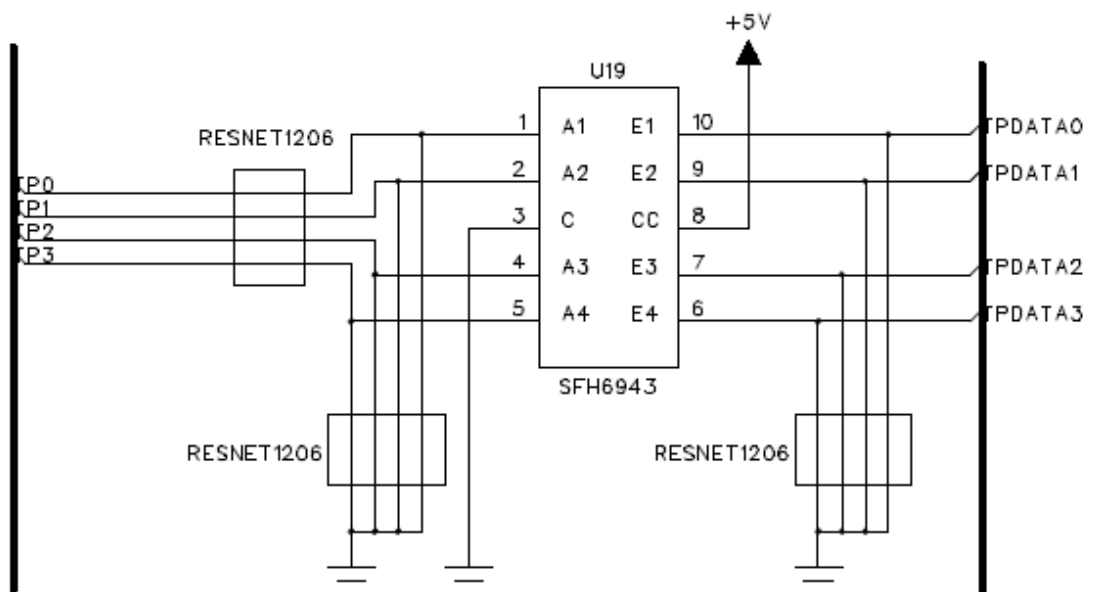
Koska absoluuttisen jännitearvon mittaamista testipisteissä ei pidetty tarpeellisena, toteutettiin tulot on/off – tyyppisinä. Tuloille määriteltiin kuitenkin 8 V:n minimijännite,

jonka tulo tarvitsee aktivoituakseen. Tulot päätettiin toteuttaa optoerottimilla, joiden avulla oli helppo toteuttaa haluttu jänniteraja tulolle. Samalla saatiin myös suojausta piirilvyn elektronikalle mahdollista tuloon kytkeytyvää ylijännitettä vastaan.



**Kuva 11.** Tulokortti

Optoerottimiksi valittiin Infineonin valmistama SFH6943, joka on pienikokoinen ja sisältää neljä optoerotinta samassa kotelossa. Lisäksi SFH6943 toimii pienillä virroilla.

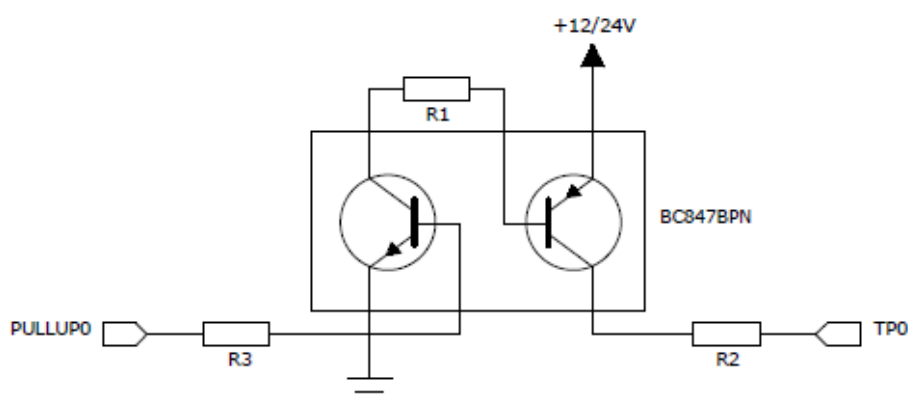


**Kuva 12.** Digitaalitulon kytkentä

Optoerottimen tuloon tehtiin kahdella vastuksella jännitteenjakokytkentä, jotta saatiin kytkennän jänniteraja sekä virta sopivaksi. Vastuksina käytettiin 1206-koteloisia vastusverkkoja, jotka sisältävät neljä vastusta. Näin saatiin yksi neljän tulon moduuli hyvin kompaktiksi paketiksi piirilevylle. Piirilevyllä on 11 kuvan 12 mukaista identtistä moduulia, joilla saadaan toteutettua vaaditut 42 tuloa.

Ylösvetovastus kytketään transistorilla testausjännitteeseen, joka on testattavasta tuotteesta riippuen joko 12 V tai 24 V. Ylösvetovastuksien kooksi määriteltiin spesifiointivaiheessa 2,7 k $\Omega$ , jolloin maksimivirraksi 24 V:n jännitteellä saadaan 8,8 mA.

Transistoriksi valittiin BC847BPN, joka on pienessä SOT363-kotelossa oleva NPN/PNP transistoripari. Näin ei tarvinnut käyttää kahta erillistä transistoria, vaan selvittiin yhdellä piirillä ja kolmella vastuksella koko ylösvetovastuksen kytkennästä. Piirilevyllä on jokaista 42:ta tuloa kohti yksi kuvan 13 mukainen ylösvetovastuskytkentä.

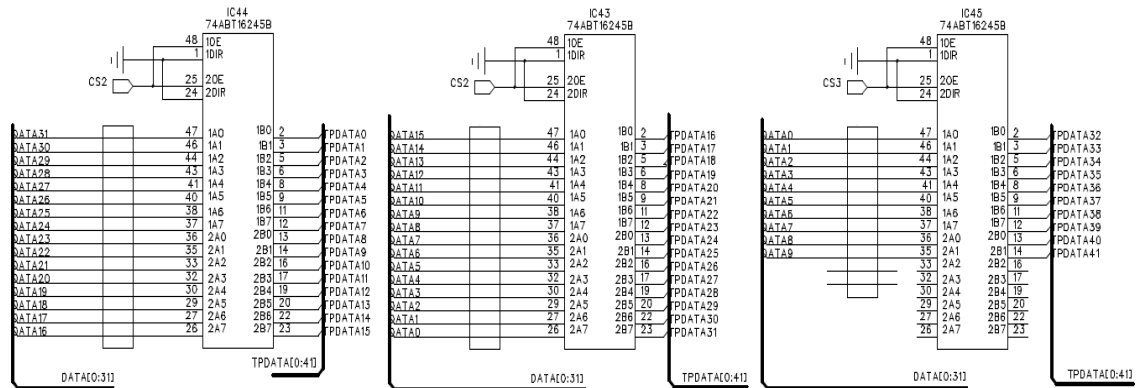


**Kuva 13.** Ylösvetovastuksen kytkentä

Väylärakenne tulokortilla on hyvin pitkälle samanlainen kuin lähtökorteilla sillä erotuksella, että tulokortilla liikkuu tietoa dataväylällä kahteen suuntaan.

Liitäntäkortin kautta tulee 4-bittinen korttiosoite, joka tuodaan tulokortin 74LS85 komparaattoriin B-tuloon. Komparaattorin A-tuloon on asetettu vastuksilla kiinteästi tulokortin osoite. Korttiosoitteen osoittaessa tulokorttia, komparaattorin lähtö aktivoi 74HC154-demultiplekserin, jolle tuodaan myös liitäntäkortin kautta 4-bittinen piirilevyn sisäinen osoite. Demultiplekserilla tehdään neljä valintasignaalia CS0, CS1, CS2 ja CS3. Signaaleilla CS0 ja CS1 aktivoidaan kolmea 74ACT16374 D-kiikkua. Kiikkupiirien lähdöt on kytketty ohjaamaan ylösvetovastuskytkentää. Kolmen 74ACT16734-piirin,

kahden vuoroittain aktivoitavien CS0- sekä CS1-valintasignaalien ja piirilevyn sisäisen osoitteen avulla voidaan ohjata kaikkia 42:ta ylös- ja alaspäinvalituskytkentää 32-bittisen dataväylän avulla. Digitaalitulojen optoerottimet on kytketty vastaavasti kolmelle 74ABT16245-puskuripiirille kuvan 14 mukaisesti ja piirejä ohjataan CS2- ja CS3-signaaleilla. Näin saadaan luettua tulojen tila dataväylältä asettamalla piirilevyn sisäinen osoite osoittamaan haluttua väyläpuskuriä.



Kuva 14. 74ABT16245 puskuripiirien kytkentä

## 6.6 Virtalähde



Kuva 15. Omron hakkuriteholähteet.

Laitteiston virtalähde muodostuu kolmesta Omronin hakkuriteholähteestä (kuva 15). Teholähteitä syötetään 230 V verkkojännitteellä. Jokainen teholähde muodostaa yhden testilaitteistossa tarvittavan jännitteen, joita ovat 12 V:n ja 24 V:n testijännitteet sekä 5 V:n käyttöjännitteen järjestelmän elektronikalle.

## 7 TESTILAITTEISTON RAKENTAMINEN

### 7.1 Piirilevyjen valmistus

Piirilevyjen teollista valmistamista varten tehtiin piirilevyohjelmalla ensin piirilevyistä vaadittavat gerber-tiedostot. Gerber-tiedostot tehtiin suoraan PADS:illä, ja piirilevyjen vedostuksen suoritti Elprintta Oy, joka myös valmisti piirilevyt.

Komponenttiluettelo jokaisesta piirilevystä laadittiin Excelillä. Luettelossa on jokaisen komponentin tarkka tyyppi, valmistaja ja komponentin kotelotyyppi.

Yksi piirilevylatojalle toimitettava dokumentti on XY-koordinaattitiedosto, josta selviää jokaisen komponentin paikka, suunta ja ladontapuoli piirilevyllä. PADS generoi lähes suoraan käyttökelpoisen koordinaattitiedoston Exceliin.

Laitteiston piirilevyt on kalustettu ladontakoneella ensimmäisistä prototyypeistä lähtien. Kalustuksen suoritti Kovotekniikka Oy. Piirilevyt olisi ollut teoriassa mahdollista kalustaa ainakin osittain myös käsin. Kokonaisuutena laitteessa on paljon piirilevyjä ja varsinkin komponentteja. Niin suuren komponenttimäärän määrän juottaminen käsin ei ole ajankäytöllisesti järkevää. Käsijuotosten laatu myös vaihtelee helposti paljon. Sen lisäksi osa väyläpiireistä on TSSOP-koteloissa, joissa komponentin jalkojen rasteri on vain 0,65 mm, mikä tekee käsin juottamisesta vaikeaa.

Korttien juottaminen onnistui kohtalaisen hyvin ensimmäisistä prototyypeistä lähtien. Ensimmäisissä korteissa oli joitakin satunnaisia juotosvikoja lähinnä tiheimpien piirien ja vastusverkkojen juotoksissa.

### 7.2 Piirilevyjen testaus

Ensimmäisten piirilevyjen saavuttua latojalta aloitettiin niiden testaus. Ensimmäiseksi piirikortteihin kytkettiin käyttöjännitteet ja suoritettiin mittaukset piirien käyttöjännitenastoista. Ohjelmiston testiversion valmistuttua mikro-ohjain ohjelmoitiin ja prosessorikortti liitettiin RS232-väylällä tietokoneeseen. Seuraavaksi oli vuorossa prosessorikortin ja PC:n välisen RS232-väylän toimivuuden tarkastaminen. Tässä vaiheessa testaamista oli enemmänkin ohjelmiston kuin elektroniikan kohdalla.



Testipistemoduuleita koottiin aluksi vain yksi. Se sisälsi yhden jokaista toimintokorttia. Näin päästiin testaamaan ensin toimintokorttien ja prosessori- ja liitäntäkortin välinen liikennöinti.

Väylätoimintoja testattaessa huomattiin, etteivät väylän bitit aina pysyneet kunnolla alatilassa prosessorikortin ja testipistemoduulin välisessä väylässä. Sama ongelma koski data-, ohjaus- ja osoiteväyliä. I/O-laajenninpiirit eivät pystyneet pitämään väylää riittävän vahvasti alatilassa ja osa I/O-porttien pinneistä jäi roikkumaan jännitetasoon, joka tulkittiin ylätilaksi. Tämä aiheutti hitautta, epävakautta ja ajoittain täydellistä toimimattomuutta väylässä. Nämä ongelmat tarkoittivat, että kytkentää piti muuttaa ja piirilevyille tarvittiin toinen suunnittelukierros.

Piirilevyistä tehtiin uudet versiot, joihin lisättiin kiinteät alasvetovastukset väyliin. Käytännössä jokaisen I/O-laajenninpiiriin sekä väyläpuskuripiirin lähtöihin lisättiin kiinteät alasvetovastukset. Näin väylien linjat pysyivät varmasti maapotentiaalissa eli alatilassa silloin kuin linjoilla ei ollut ohjausta.

Alasvetovastuksien lisääminen poisti ensimmäisessä versiossa väylän toiminnassa havaitut ongelmat ja uusilla piirilevyversioilla väylän toiminnassa ei ollut enää moitittavaa.

Testejä piti kuitenkin suorittaa loppuun asti ensimmäisillä piirilevyversioilla, jotta saatiin selville kaikki mahdolliset ongelmat ennen seuraavaa suunnittelukierrosta. Piirikorteille juotettiin käsin 4,7 k $\Omega$ :n alasvetovastukset, jotta päästiin aloittamaan testipisteiden testaus.

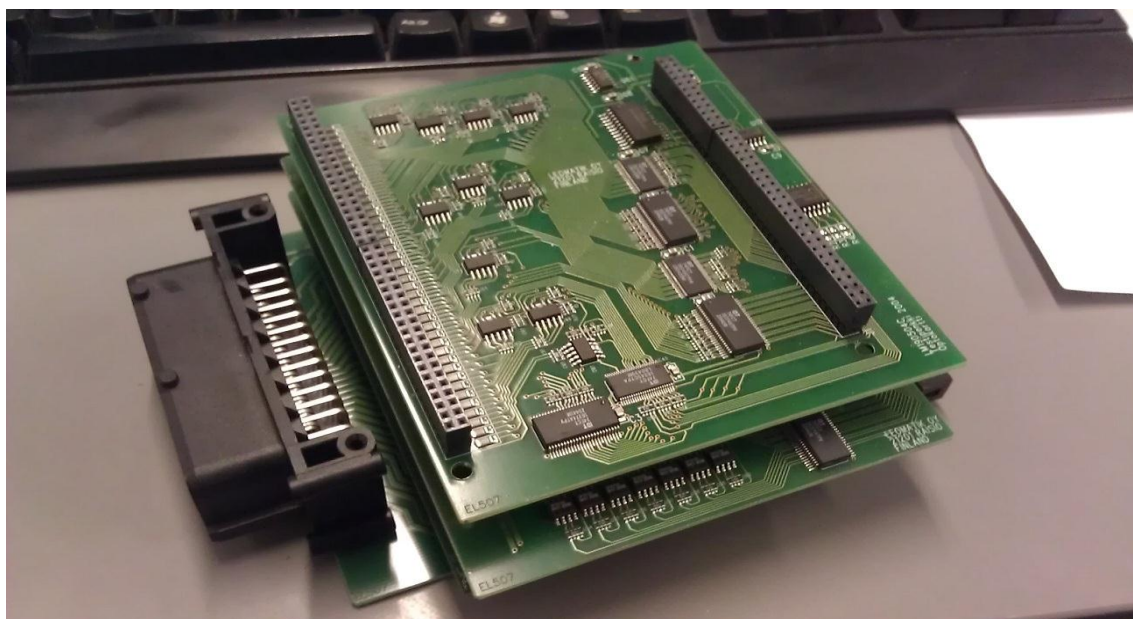
Testipisteeseen kytkettiin kuormaksi rinnan kaksi 24 V:n ja 30 W:n venttiilikelaa ja lähdöt aktivoitiin ohjelmallisesti. Lähtöpiirin maksiminimellisvirraksi annetaan 5 A joten piiri suoriutui 2,5 A:n testikuormasta ongelmitta. Piirilevyllä ei ole juurikaan kuparialuetta lähtöpiirien jäähdytykseen, mutta käytännössä tämä ei ole ongelma testilaitteessa, jossa lähtöpiirit ovat aktiivisena hyvin lyhyitä aikoja. Lisäksi johtosarjan testaustilanteessa kuorma on vain muutaman mA:n luokkaa. Seuraavaksi vuorossa oli oikosulkutestaus. Johtosarjassa voi käytännössä olla oikosulkuja, joten lähtöpiirien oikosulkusuojan pitää toimia ennen kuin piirilevyltä palaa kuparivedot poikki. Oikosulkusuojausta testattiin kytkemällä testipiste oikosulkuun parin metrin mittaisella johtimella, jonka jälkeen lähtö aktivoitiin. Piirien oikosulkusuojausten todettiin toimivan hyvin. Oikosulkusuojausta testattiin myös kytkemällä aktiivisena oleva testipiste oikosulkuun. Tämänkin testin lähtöpiiri läpäisi ongelmitta.

Tulokortilla on sekä optoerotut tulot että ylösvetovastukset. Ensin testattiin tulot kytkemällä testipisteen lähtöpiiri aktiiviseksi. Tulo toimi 24 V:n jännitteellä ongelmitta, mutta 12 V:n jännitteellä kaikki tulot eivät aktivoituneet. Optoerotimen ja vastuksien toleransseista johtuen todellinen toimintaraja-arvo tulokytkenälle ei ollutkaan toivottu 8 V, vaan jonkin verran korkeampi. Vastukset mitoitettiin uudestaan ja sopivia vastusarvoja testattiin kunnes haluttu 8 V:n taso saavutettiin.

Ylösvetovastukset testattiin kytkemällä testipisteestä maahan ylösvetovastuksen suuruinen 2,7 k $\Omega$ :n vastus. Kun ylösvetovastus aktivoitaisiin, pitäisi testipisteen jännitteen asettua suunnilleen testausjännitteen puoliväliin. Mittaus osoitti teorian oikeaksi ja ylösvetovastusten todettiin toimivan halutulla tavalla.

### 7.3 Laitteiston kokoonpano

Kun toimivat piirilevyt olivat valmiina, aloitettiin laitteiston kokoonpano. Testilaitteiston rungoksi valittu Trestonin valmistama ESD-työpöytä saapui osina laatikossa. Pöytä kasattiin ja kiinnitysmahdollisuuksia testauselektronikalle ja virtalähteille alettiin tutkia tarkemmin. JL-Levytekniikka Oy valmisti pöydän alle aikaisemmin suunnitellut pellit, joiden sisään laitteisto saatiin koteloitua. Pellit olivat sopivan kokoiset jo ensi yrittämällä, ja ne kiinnitettiin ruuvein työpöydän jalkoihin jokaisesta nurkasta. Näin saatiin suojattu tila laitteiston elektronikalle.



**Kuva 16.** Testipistemoduuli

Kuvan 16 testipistemoduulin 42-napainen testipisteliitin on paneeliin asennettava malli. Liittimessä on neljä ruuvipaikkaa, joista testipistemoduuli saatiin tukevasti kiinnitettyä etupaneeliin ruuveilla. Etupaneeliin kiinnitettiin lisäksi naparuuvit, joista saadaan käyttöön 12 V:n ja 24 V:n testausjännitteet sekä laitteiston maapotentiaali. Prosessorikortti kiinnitettiin piirilevykorokkeilla ensimmäiseen testipistemoduuliin. Toimintokortit kiinnitettiin liitântäkortteihin kuvan 16 mukaisesti piikkirimaliittimillä.

Takapaneeliin asennettiin valmiisiin reikiin verkkojohdon liitin sulakkeineen sekä 9-napainen D-liitin sarjaporttia varten. Takapaneelin sisäpuolelle kiinnitettiin DIN-kiskoa, johon saatiin kiinnitettyä virtalähteet. Käyttö- ja testausjännitteet johdotettiin liitântä- sekä prosessorikortille. Samalla johdotettiin myös etupaneelin naparuuvit. Sarjaportti kaapeloitiin suojatulla kaapelilla prosessorikortilta takapaneelin liittimelle.



**Kuva 17.** Valmis testilaitteisto

Mekaanisessa kokoonpanossa ei ollut ongelmia suunnittelun tai toteutuksen osalta, vaan laitteisto saatiin koottua ja otettua käyttöön varsin nopeasti ja helposti. Kuvassa 17 on valmis testilaitteisto käytössä.

## 8 POHDINTA

Tämän työ aloitettiin kartoittamalla ne ominaisuudet ja vaatimukset, jotka tulevan testilaitteiston tulisi täyttää. Vaatimusmäärittelyn kirjoittaminen oli kohtalaisen nopea ja suoraviivainen toimenpide, jossa apuna olivat yrityksen elektroniikka- ja ohjelmistosuunnittelija. Työtä aloitettaessa olin ollut yrityksessä kesätoissa jo kolme kesää, joten minulla oli itsellenikin varsin hyvä kuva siitä, mitä valmiilta testilaitteistolta vaadittaisiin.

Tuotteiden testaamiseen testilaitteistolta vaadittavat sähköiset toiminnot eivät ole kovinkaan monimutkaisia. Testilaitteistosta haluttiin kuitenkin modulaarinen laajennettavuuden ja huollettavuuden kannalta, joten järjestelmä- ja elektroniikkasuunnitteluun tuli huomattavasti lisää työtä. Muun muassa suunniteltiin viisi erilaista piirilevyä.

Elektroniikkasuunnittelu onnistui alusta lähtien melko hyvin. Piirilevyistä tarvittiin kylläkin kaksi suunnittelukierrosta, mutta tämä ei ole mitenkään tavatonta. Toisaalta toinen piirilevyjen suunnittelukierros tarvittiin pääosin väylältä puuttuvien alasvetovastusten takia, joiden tarpeellisuus tässä toteutuksessa olisi mielestäni pitänyt huomata jo ensimmäisellä suunnittelukierroksella.

Tätä kirjoitettaessa testilaitteisto on ollut käytössä jo useamman vuoden ajan ja toiminut varsin hyvin. Mitään suunnittelusta johtuvia rikkoontumisia ei ole sattunut. Testilaitteiston elektroniikka on kestänyt hyvin muun muassa testattavissa tuotteissa olevat oikosulut, jotka ovat eniten elektroniikkaa kuormittava vikatyyppejä. Muutama piirilevy on jouduttu vuosien aikana vaihtamaan satunnaisten toimintahäiriöiden takia. Viat vaihdetuissa piirilevyissä on jäljitetty käytännössä juotosvioiksi. Piirikorteilla on paljon komponentteja, joiden jalkojen rasteri on pieni ja juottaminen haasteellista. Yleensä tällaisia komponentteja sisältävistä piirilevyistä tehdään ladontalinjalla testieriä, joissa juotosprosessi säädetään kohdalleen. Tässä tapauksessa ei kuitenkaan ole tehty testieriä niiden suuren hinnan vuoksi, koska kyseessä ei ole sarjatuotantotuote, vaan piirilevyt ovat päätyneet käyttöön jo ensimmäisestä tuotantoerästä.

Testilaitteisto on toiminut siis varsin luotettavasti ja suoriutuu kaikista niistä toiminnallisista vaatimuksista, jotka sille suunnittelun alkuvaiheessa asetettiin. Näin ollen työn tuloksiin voidaan olla varsin tyytyväisiä.

Myöskään mitään välttämättömiä muutos- tai kehitystarpeita ei ole tullut esille, ainoastaan prosessorikortin uudistamisesta on välillä käyty keskusteluja.

Tällä hetkellä kommunikointi PC:n kanssa tapahtuu RS232-sarjaportin välityksellä 38 400 b/s nopeudella, joka on testisekvenssin nopeutta rajoittava tekijä. Nopeutta saataisiin lisättyä käyttämällä USB-väylää PC:n ja testilaitteiston välillä. Uusissa tietokoneissa ei yleensä ole RS232-sarjaporttia, joten USB-liitäntä suoraan prosessorikortilla olisi siksikin hyvä vaihtoehto. Ratkaisuna olisi suunnitella prosessorikortti uudestaan ja käyttää mikro-ohjainta, jossa olisi USB-rajapinta valmiina. Samalla voisi nopeuttaa myös data-, osoite- ja ohjausväylien toimintaa käyttämällä mikro-ohjainta, jonka I/O-määrä riittäisi ohjaamaan suoraan väyliä. Tällä hetkellä mikro-ohjaimen ja I/O-laajenninpiirien välillä oleva I<sup>2</sup>C-väylä on laitteiston sisäistä nopeutta rajoittava tekijä.

Käytännössä kuitenkin suurin osa tuotteen testaamiseen käytetystä ajasta menee tuotteen kytkemiseen testilaitteistoon sekä joissakin tuotteissa testaamisessa käyttäjältä vaadittavien toimien suorittamiseen. Tämän vuoksi testilaitteiston nopeuttamisella on testauksen kokonaisajansäästöön hyvin marginaalinen vaikutus, joten ainakin toistaiseksi prosessorikortin uudistamisesta on luovuttu kustannussyistä.

## 9 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena suunnitella johtosarjojen testilaitteisto työkoneiden ja ajoneuvojen johtosarjoja valmistavan yrityksen tuotantoon. Koska valmiita yrityksen tarpeisiin sopivia testilaitteistoja ei markkinoilla ollut, päätettiin koko testilaitteisto suunnitella ja valmistaa itse.

Työssä suunniteltiin ja valmistettiin testilaitteisto kokonaisuudessaan mukaan lukien mekaaninen toteutus. Työ aloitettiin huolellisella vaatimusmäärittelyllä ja spesifioinnilla. Sen jälkeen tehtiin järjestelmä- ja elektroniikkasuunnittelu, joka kattoi myös piirilevyjen suunnittelemisen ja valmistuttamisen. Viimeisenä suunnitteluvaiheena tehtiin mekaniikkasuunnittelu. Lopuksi testilaitteisto testattiin huolellisesti ja koottiin suunniteltuun mekaniikkaan. Tässä työssä ei suunniteltu laitteiston ohjelmistoa, vaan ohjelmistosuunnittelun suoritti yrityksen ohjelmistosuunnittelija.

Työn tuloksena saatiin vaatimusten mukainen joustava ja helppokäyttöinen testilaitteisto. Testilaitteisto on osoittanut toimivuutensa ja luotettavuutensa jo usean vuoden käytön ajalta, sillä laitteiston suunnittelusta johtuvia vikaantumisia ei ollut.

## LÄHDELUETTELO

- [1] Jari Koskinen, Mikrotietokonetekniikka. Otava, 1999
- [2] Eino Rannikko, henkilökohtainen keskustelu, 10.11.2011
- [3] Pertti Helle, henkilökohtainen keskustelu, 8.1.2004